

**Palabras claves:** Sistema agroforestal, sistema silvopastoril, soportes vivos, cultivo en callejones y árboles fijadores de nitrógeno

### RESUMEN

El Proyecto Árboles Fijadores de Nitrógeno *Leucaena-Calliandra*, financiado por la Agencia Sueca de Cooperación para la Investigación (SAREC), ha venido impulsando actividades en Costa Rica y Nicaragua desde 1989. Además de *Leucaena* y *Calliandra*, algunas de las actividades del Proyecto incluyen los géneros *Erythrina* y *Gliricidia*.

En Costa Rica se trabaja en tres áreas: el desarrollo de los sistemas agroforestales, capacitación y consolidación de métodos analíticos sobre suelos y nutrición animal en los laboratorios del CATIE. En Nicaragua, el Proyecto promueve la capacitación y asistencia técnica en los proyectos agroforestales y silviculturales del Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente (MIRENA), de la Universidad Nacional Agraria (UNA) y de la Universidad Centroamericana (UCA).

Entre los mayores logros en investigación, están la reducción de la respuesta del café a la fertilización mediante el uso de sombra de árboles leguminosos, el incremento de la producción de ñame usando *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. como soporte vivo, la alta producción de frijoles y maíz en suelos volcánicos con elevados niveles de aluminio (Acrudoxic Melanudand), el incremento de la producción de ñampí (*Colocasia esculenta*) mediante la fertilización y poda de árboles fijadores de nitrógeno, y del maíz en asociación con *Erythrina fusca* y la selección de clones de *Erythrina* con bajos niveles de alcaloides, así como varias familias de *Gliricidia sepium* con baja cumarina, ácido orto-cumárico y contenidos de ácido melilótico, usando cromatografía líquida de alta presión.

### A Nitrogen Fixing Tree Project : Leucaena-Calliandra

#### ABSTRACTS

The Project for the Nitrogen Fixing Genera *Leucaena* and *Calliandra*, financed by the Swedish Authority for Cooperation for Research in Developing Countries (SAREC), has been developing activities in Costa Rica and Nicaragua since 1989. In addition to these genera, some of the activities also involve the genera *Erythrina* and *Gliricidia*. The activities in Costa Rica cover three areas: development of agroforestry systems, training, and consolidation of analytical methods in the soil and animal nutrition laboratories of CATIE. In Nicaragua, the Project provides training and technical assistance to the agroforestry and silviculture projects of the Ministry of Natural Resources and the Environment (MIRENA), the National Agrarian University (UNA), and the Central America University (UCA). Among major research findings have been the reduction of the response of coffee to fertilization through the use of shade of leguminous trees, increasing of tropical yam production using *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. as a live support, maintenance of high yields of beans and maize on a high aluminium volcanic soil (Acrudoxic Melanudand) the increasing of ñampí (*Colocasia esculenta*) through the use of liming and prunings of nitrogen fixing trees, association with *Erythrina fusca*, and the selection of clones of *Erythrina* with low alkaloid contents as well as families of *Gliricidia sepium* with low coumarin, ortho-cumaric acid, and melilotic acid contents using high pressure liquid chromatography.

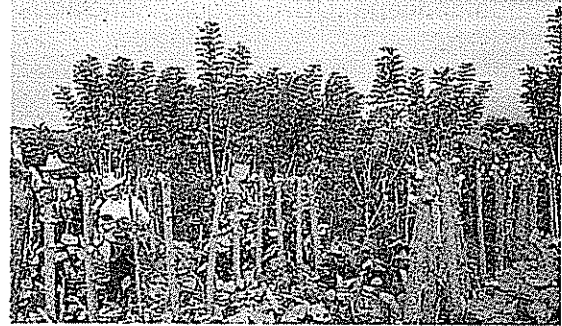
## PROYECTO ARBOLES FIJADORES DE NITROGENO LEUCAENA-CALLIANDRA

Romeo Solano A.<sup>1</sup>

Jorge Jiménez

Pedro Oñoro

Edgar Viquez



### AMPLIANDO LOS CONOCIMIENTOS SOBRE LEUCAENA Y CALLIANDRA

El Proyecto Árboles Fijadores de Nitrógeno: *Leucaena-Calliandra* inició sus actividades en el año de 1989 con la ayuda financiera de la Autoridad Sueca de Cooperación para la Investigación en Países en Desarrollo (SAREC), con el propósito de aumentar el nivel de conocimientos sobre el uso y potencialidades de estos géneros en sistemas agroforestales (SAF) y sistemas silvopastoriles (SSP), para transmitirlos a los agricultores de la región.

El Proyecto reconocido con las siglas SAREC/CATIE, incluyó posteriormente en su trabajo al género *Gliricidia* y continuó unos estudios que se venían realizando con *Erythrina*, por el gran potencial que éstos árboles tienen para ser utilizados en diferentes sistemas agroforestales en el trópico americano.

El Proyecto *Leucaena-Calliandra* desarrolla sus actividades en Costa Rica en tres aspectos: Desarrollo de Sistemas Agroforestales, Capacitación y Consolidación de Metodologías Analíticas en los Laboratorios de Suelos y Nutrición Animal. A la fecha, se han generado diferentes tecnologías en sistemas agroforestales y realizado esfuerzos

<sup>1</sup> Líder del Proyecto SAREC/CATIE y equipo de investigadores

por adaptar a las condiciones del istmo centroamericano, metodologías capaces de ser implementadas en términos más sencillos y económicos, sin exponer la precisión de los resultados. En Nicaragua, el Proyecto proporciona asistencia técnica y capacitación a los proyectos agroforestales y silviculturales del Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente (MIRENA), de la Universidad Nacional Agraria (UNA) y de la Universidad Centroamericana (UCA), todos financiados por SAREC.

### INVESTIGACIONES CON CULTIVOS PERENNES

Durante siete años se evaluó conjuntamente con el Instituto del Café (ICAPE), el efecto de diferentes dosis de fertilizantes en la producción de café con y sin sombra de árboles de Poró, *Erythrina poeppigiana* Walp. O.F. Cook, en la Finca La Isabel en Turrialba, Costa Rica.

Las dosis de fertilizante utilizadas fueron 0, 330, 660, 990, y 1320 kg/ha de la fórmula 20-7-12-3-1.2 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-Mg y Bo, y 250 kg/ha de nitrógeno en forma de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

El análisis se concluyó en 1992 y determinó una producción media de café cereza bajo sombra de 17515 kg/ha/año para siete cosechas, siendo ésta significativamente superior (P<0.01) a la obtenida sin sombra (15563 kg/ha/año).

Las tendencias de la respuesta a la fertilización fueron mayores en el café sin sombra. Cuando se aplicó 660 kg/ha de fertilizante al café con sombra, se obtuvo el mismo rendimiento que con 1320 kg/ha sin sombra (Gráfico 1).

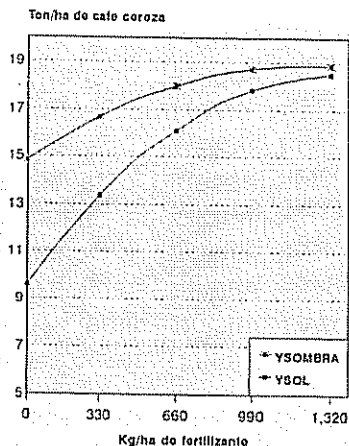


Gráfico 1. Respuesta del café a la fertilización bajo dos niveles sombra La Julia Turrialba, 1984-1991

### INVESTIGACIONES CON CULTIVOS ANUALES Y ARACEAS

En este campo se evaluó el crecimiento y la producción de ñame alado (*Dioscorea alata*) utilizando soportes vivos de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. y *Erythrina berteroana* Urb. Las especies arbóreas se manejaron con tres frecuencias de podas (a la siembra, a la siembra y tercer mes; y a la siembra, segundo y cuarto mes después de ésta), se usaron dos tipos de soportes muertos (soporte individual y soporte barbacoa), además de un control sin soporte.

Los mejores rendimientos se obtuvieron con los soportes convencionales (individual y barbacoa) y el soporte con *G. sepium* (Jiménez *et al*, 1992). La producción total de tubérculos y el rendimiento de tubérculos exportables fueron altamente significativos (P<0.01) entre los tratamientos. Los contrastes determinaron diferencias entre *E. berteroana* (1130 kg/ha) y *G. sepium* (3532 kg/ha) al 5%; y entre soportes muertos (8321 kg/ha) y vivos (2331 kg/ha) al 1%. No hubo mayor diferencia entre el soporte barbacoa (7789 kg/ha) y el individual (8854 kg/ha).

También se realizó un estudio de cultivo en callejones en ladera, conjuntamente con el Proyecto Manejo de Cuencas del CATIE, que efectuó mediciones de la erosión hídrica y la escorrentía superficial durante tres años. Los tratamientos evaluados fueron maíz-frijol con cobertura natural; sembrados entre hileras de *E. fusca*; con mulch de *Inga edulis* Mart; y mulch de *E. fusca*.

El análisis de varianza, utilizando un diseño de parcelas divididas en el tiempo, determinó diferencias significativas (P<0.003) entre tratamientos. La mayor protección contra la escorrentía la ejerció el mulch de *I. edulis*, ventaja atribuida a que la descomposición de las hojas es más lenta. Los rendimientos del grano de maíz y del frijol no fueron estadísticamente diferentes.

En el maíz, el mulch de *Inga* fue superior a todos los demás tratamientos con rendimientos de 2931 kg/ha de grano, en comparación con 2173 kg/ha del control (Lebeut, 1993).

Actualmente, se están evaluando en Guápiles las especies arbóreas *E. fusca*, *G. sepium*, *E. berteroana* y *C. calothyrsus* plantadas a 6 x 1 m con cultivos de *Zea mays*, bajo el sistema maíz-maíz, al cual se incluyó un monocultivo sin fertilizante.

El análisis de varianza sobre tres cosechas de

maíz mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos para el rendimiento del grano y la producción de biomasa y diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre las cosechas para ambas variables.

La superioridad de la segunda cosecha se debe a que las siembras en enero favorecen la producción del grano al disminuir el régimen de lluvias. La mayor producción de maíz se obtuvo con el monocultivo (3640 kg/ha); promedio estadísticamente superior (Duncan 5%) al asociado con *C. calothyrsus* (2548 kg/ha), que también fue estadísticamente superado por el tratamiento con *E. fusca* (3122 kg/ha). Sin embargo, la respuesta del monocultivo disminuyó sensiblemente en la segunda y tercera cosecha. En esta misma zona se investigó el sistema maíz-aráceas cultivado en callejones de *E. fusca* y *C. calothyrsus* con espaciamientos de 6 m entre hileras y de 0.5, 1.0, y 2.0 m dentro de hileras. Aquí también se incluyó un monocultivo; maíz-ñampí sin fertilizante. Los resultados hasta el momento incluyen dos cosechas de ñampí (*Colocasia esculenta*) y una de maíz.

Con ñampí el rendimiento promedio de las dos cosechas para los cormelos totales fue de 18915 kg/ha para *E. fusca*; 16163 kg/ha para el monocultivo y 15070 kg/ha para *C. calothyrsus*. No se encontraron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre el ñampí asociado con árboles y el monocultivo; sin embargo, este último fue superado por los tratamientos con *E. fusca*. Por su rápido crecimiento, *C. calothyrsus* requirió una poda parcial de los árboles durante la segunda cosecha (60 días después de la siembra del cultivo), lo que explica su bajo rendimiento. El análisis combinado de ambas cosechas no mostró diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) en cuanto a espaciamiento, en las especies usadas. La producción de maíz no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. Tampoco mostraron diferencias los contrastes entre especies de árboles y espaciamientos; ni entre el monocultivo y el cultivo asociado.

En general, los rendimientos fueron altos comparados con los considerados normales en la zona. La producción de maíz con *E. fusca* fue de 5260 kg/ha y de 4850 kg/ha con *Calliandra*; mientras que el monocultivo produjo 4700 kg/ha. Estos resultados indican un potencial grande para el ñampí en los sistemas agroforestales.

Otro estudio iniciado recientemente, es el sistema de cultivo en callejones en condiciones del bosque seco tropical con árboles de *G. sepium* y *L. leucocephala* plantados a 6 y 3 m, entre hileras y a 1 m entre árboles. Se estudian los sistemas maíz-sorgo y maíz-frijol y se cuenta hasta el momento con sólo una cosecha de maíz.

En general, se encontró mayor rendimiento del



Se obtuvo mayor rendimiento de ñampí (*Colocasia esculenta*) en cultivo de callejones con *Erythrina fusca*, que con el monocultivo.

maíz en los tratamientos con árboles en relación al monocultivo. Se observó cierta superioridad de *G. sepium* sobre *L. leucocephala*, la razón podría ser el mayor crecimiento mostrado por los árboles de esta especie. *G. sepium* a 3x1 m fue superior (Duncan 5%) a los demás tratamientos, excepto *L. leucocephala* a 6x1 m. Los rendimientos obtenidos fueron 2689 kg/ha en *G. sepium* 3x1 m, 1238 kg/ha en *G. sepium* a 6x1 m, 1308 kg/ha en *L. leucocephala* a 3x1 m, 1586 kg/ha en *L. leucocephala* a 6x1 m y 366 kg/ha en el monocultivo.

Por otro lado, durante catorce ciclos consecutivos se evaluó la especie *Erythrina poeppigiana* plantada en cuatro arreglos espaciales (6x1, 6x2, 6x3 y 6x4 m entre hileras y plantas, respectivamente); en un sistema de cultivo maíz-maíz. Se realizó un análisis combinado considerando cinco posiciones del surco de maíz con relación a la hilera de árboles, donde las distancias de los surcos de maíz con la hilera de árboles fueron de 0.75, 1.25, 1.75, 2.25 y 2.75 m. Hubo una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ), para el rendimiento del grano entre el monocultivo sin fertilizante (1350 kg/ha) con relación al promedio de los tratamientos con árboles (2249 kg/ha) y al monocultivo fertilizado (2401 kg/ha) (Jiménez, et al, 1992).

El análisis combinado para evaluar el efecto de posición de los surcos de maíz no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). En 6x1 se observó una reducción de los rendimientos en el surco a 0.75, con un incremento en los surcos a 1.25 y 1.75 m, para disminuir en los surcos más alejados (2.25 y 2.75 m). En los tratamientos 6x3 y 6x4 m los mayores rendimientos se obtuvieron para los surcos más cercanos a la hilera de árboles.

Con hileras de árboles más densas (6x1 y 6x2 m), los surcos de maíz más cercanos se ven afectados por falta de luz; mientras que en espaciamientos de 6x3 y 6x4, además de la mayor disponibilidad de luz prevalecen otros factores como el aprovechamiento de nutrimentos.

Pareciera entonces, que es posible mantener una producción adecuada de maíz en callejones de *Erythrina poeppigiana* por varios años, obteniendo rendimientos significativamente mayores a los del monocultivo sin fertilizante y /o similares al monocultivo fertilizado.

#### EVALUACION DE GENOTIPOS Y METODOLOGIAS ANALITICAS

La identificación de especies de árboles de uso múltiple es otro de los objetivos del proyecto. A la fecha se ha estudiado el comportamiento de 24 especies y variedades de *Leucaena* spp., establecidas en Costa Rica y Nicaragua. En Costa Rica, el ensayo ha tenido evaluaciones de sobrevivencia, altura, diámetro, producción de biomasa y fenología.

Según la prueba de Duncan (5%), en la primera medición (6 meses de edad) se detectaron diferencias entre la introducción 56/88 y las 50/87, 47/87 y 83/87. Los promedios por genotipo variaron en diámetro a los 10 cm de altura, entre 1.27 y 0.51 cm. Los valores para altura total de la planta oscilaron entre 1.336 m y 0.393 m. En la segunda medición (12 meses de edad) se encontraron diferencias ( $P < 0.06$ ) en la altura total entre genotipos. Los valores de diámetro

basal oscilaron entre 4.74 cm (53/88) y 1.63 cm (58/88). Para la altura total de la planta, los valores variaron de 3.97 m (47/85) a 1.31 m (58/88). La agrupación de medias según la prueba de Duncan (5%), permitió detectar diferencias entre grupos de materiales para las dos variables. Las introducciones 47/85, 53/88 y 2/86 (con alturas de 3.97, 3.7 y 3.62 m, respectivamente), difirieron de los materiales 81/87, 58/88 y 84/87 (1.42, 1.31 y 1.63 m, respectivamente). El diámetro basal mostró



Cultivo en callejones de *Calliandra calothyrsus* y *Erythrina fusca* con *Nampi* (*Colocasia esculenta*). Guápiles, Costa Rica. (Foto R Solano)

diferencias entre las introducciones 53/88 (4.74 cm) y los materiales 58/88 (1.63 cm) y 50/87 (1.63 cm). Los resultados mostraron una gran variabilidad entre procedencias o variedades de una misma especie. La sobrevivencia varió entre 44% y 100% y la mortalidad más alta la obtuvo la introducción 50/88.

Para seleccionar genotipos forestales superiores para ser usados como árboles forra-

jeros se implementaron metodologías analíticas apropiadas para la determinación de factores anticualitativos o antifisiológicos que permitieran escoger los genotipos deseables para la alimentación de rumiantes. Se desarrolló una metodología de análisis de alcaloides totales en *Erythrina* spp. por espectroscopía ultravioleta, mediante la cual se concluyó que el tiempo de hidrólisis extracción, el método de secado y el uso de hidróxido de sodio influyen en la cantidad de alcaloides totales extraídos de las hojas de Poró. También se compararon los métodos aplicados, siendo el secado al horno el que ofrece mayor precisión y menor costo; mientras que el método de liofilizado permite extraer mayor cantidad de alcaloides.

La espectroscopía ultravioleta puede ser usada para el análisis de alcaloides totales, al reportar los resultados como absorbancia por gramo de materia seca. La metodología adaptada por el Proyecto tiene ciertas ventajas en relación con las metodologías reportadas en la literatura, como son el bajo costo, corta duración y que no requieren de alcaloides puros como patrones.

Otra metodología desarrollada sirve para la extracción y cuantificación de cumarina, ácido ortocumárico y ácido mellilótico en hojas de *G. sepium*, utilizando cromatografía líquida de alta presión. La variación de cantidades

extraídas depende de factores metodológicos, como secado, tiempo de hidrólisis y número de hidrolizaciones. El tratamiento de secado de la muestra influye significativamente en las cantidades de cumarina y ácido melilótico cuantificadas, al disminuir la concentración de cumarina y aumentarla en el ácido melilótico.

Los tratamientos con liofilización en fresco proporcionan datos muy precisos en las lecturas del cromatógrafo, a diferencia del tratamiento al horno; mientras que el tratamiento con nitrógeno líquido cuantifica mejor los metabolitos.

El proyecto continuará con las evaluaciones de individuos de varias familias de *G. sepium*, para confirmar si hay mayor variabilidad entre individuos dentro de familias o entre familias dentro de procedencias y con la evaluación y selección de genotipos de *Leucaena* spp.

Con estos estudios se podrán seleccionar los genotipos con mayor aptitud para su utilización como fuentes de forraje, soportes vivos de cultivos de enredo y para la producción de leña.

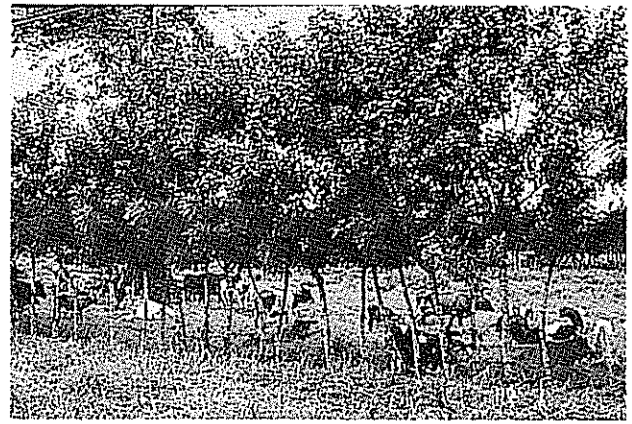
### CAPACITACION

La capacitación ha sido una de las principales actividades del Proyecto y comprende las siguientes modalidades:

-Estudios de posgrado y de doctorado relacionados con el proyecto: A nivel de doctorado han participado dos estudiantes norteamericanos y uno de Finlandia.

-Cursos cortos: Han recibido capacitación más de 500 profesionales en diferentes tecnologías agroforestales y en el análisis estadístico utilizado en los SAF; así como 28 maestros en ciencias, egresados del CATIE.

-Capacitación en servicio: Se preparó a 55 profesionales de diferentes países del área en temas relacionados con las líneas de trabajo del Proyecto.



La selección de procedencias de *Gliricidia sepium* con menos contenido de cumarina aumentará su uso en la alimentación animal. Costa Rica. (Foto R.Solano).

### BIBLIOGRAFIA

JIMENEZ, J.M.; KASS, D.L.; OÑORO, P.R. 1991 Analysis of the growth and phenology of corn (*Sea Mays* L.) associated with Mountain Immortelle (*Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook at different tree densities. Turrialba, C.R., CATIE. 8 p. Presentado en: International Symposium Windbreaks and Agroforestry (3, 1991, Ontario Can.)

JIMENEZ, J. M.; VIQUEZ, E.; KASS, D.L.; CHAVARRIA, R. 1992. Uso de *Erythrina berteroana* y *Gliricidia sepium* como soporte vivo de ñame alado (*Dioscorea alata* L. c.v. 6322) El Chasqui. (C.R.) no. 29: 6-11.

LEBEUF, T. 1993. Sistemas agroforestales con *Erythrina fusca* y su efecto sobre la pérdida de suelo y la escorrentía superficial en tierras de ladera, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. In *Erythrina in the new and old worlds* (1993, Turrialba, C.R.). Proceedings. Ed. by S. B. Westley; M. Powell. Hawaii, EE.UU., Nitrogen Fixing Tree Association. p. 175-184.